

BUNDE●REPUBLIC DEU●SCHLAND

DE 00/1878



E3U

09/744893

#3 Priority doc

REC'D 08 AUG 2000

6-20-01

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

199 28 482.2

Anmeldetag:

22. Juni 1999

Anmelder/Inhaber:

ROBERT BOSCH GMBH,
Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Offsetabgleich von Winkelsensoren

IPC:

G 01 B, G 01 D

REC'D 08 AUG 2000

WIPO PCT

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 13. Juli 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

15.06.99

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren zum Offsetabgleich von Winkelsensoren

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum
15 Offsetabgleich von Winkelsensoren, welche einen zu
bestimmenden Winkel auf der Grundlage eines dem Winkel
zuordnenbaren Sinus- und eines dem Winkel zuordnenbaren
Cosinus-Signals bestimmen.

20 Zur Messung von mechanischen Winkeln werden häufig
Meßmethoden eingesetzt, die auf der Auswertung von Sinus-
und Cosinus-Signalen eines Sensors beruhen. Als Beispiele
sind in diesem Zusammenhang zu nennen Resolver als
induktive Geber, anisotropische magnetoresistive Sensoren
25 (AMR-Sensoren), Sensoren, welche den giant-
magnetoresistiven Effekt ausnutzen (GMR-Sensoren),
Hallensoren als magnetische Winkelgeber sowie optische
oder mikromechanische Geber.

30 AMR-Sensoren werden beispielsweise zur Lenkradwinkelmessung
eingesetzt. Der zu bestimmende Winkel wird bei derartigen
Sensoren über eine elektronische Bearbeitung der Sinus- und
Cosinus-Signale des Sensors, welche dem zu bestimmenden
Winkel zuordnenbar sind, bestimmt.

Die Winkelgenauigkeit derartiger Sinus-Cosinus-Sensoren wird durch Offset-Effekte begrenzt. Offset-Effekte können insbesondere bei Einsatz der Sensoren unter hohen

5 Temperaturen auftreten. Beispielsweise führt eine Winkelmessung im Kfz-Motorraum, in welchem typischerweise hohe Temperaturen herrschen, bei herkömmlichen Winkelsensoren zu nicht zu vernachlässigenden Offseteffekten. Hierdurch ist es notwendig, Fertigungs- und

10 Betriebstoleranzbänder für die mechanischen, magnetischen, optischen oder mikromechanischen Bauteile derartiger Sensoren möglichst niedrig anzusetzen, wodurch ihre Bereitstellungskosten steigen.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens, mit welchem in einfacher Weise die Winkelgenauigkeit bei Winkelsensoren, insbesondere bei Winkelmessungen unter hohen Temperaturen, verbessert werden kann, ohne daß allzu strenge Anforderungen an

20 Betriebstoleranzbänder gestellt werden müssen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Offset eines

25 Winkelsensors in einfacher Weise während des Betriebes berechnet und kompensiert werden. Hierdurch ist gegenüber herkömmlichen Lösungen eine Erhöhung der Winkelgenauigkeit möglich, insbesondere sind Winkelmessungen bei hohen Temperaturen, beispielsweise im Kfz-Motorraum, in

30 zufriedenstellender Weise realisierbar. Die Erfindung erlaubt eine Erhöhung der Fertigungs- bzw. Betriebstoleranzbänder für die mechanischen, magnetischen, optischen oder mikromechanischen Bauteile der eingesetzten Sensoren.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

- 5 Gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Bestimmung des Offsets O_{sin} des Sinussignals entsprechend einer Gleichung

10
$$O_{sin} = 1/2 * \{ U_{cos}(1) - U_{cos}(3) + [(U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) * (U_{sin}(2) + U_{sin}(1)) / (U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) - [(U_{sin}(3) - U_{sin}(2)) * (U_{sin}(3) + U_{sin}(2)) / (U_{cos}(3) - U_{cos}(2))]] / [(U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) / (U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) - (U_{sin}(3) - U_{sin}(2)) / (U_{cos}(3) - U_{cos}(2))] \},$$

- 15 und die Bestimmung des Offsets O_{cos} des Cosinussignals entsprechend einer Gleichung

20
$$O_{cos} = 1/2 * \{ U_{sin}(1) - U_{sin}(3) + [(U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) * (U_{cos}(2) + U_{cos}(1)) / (U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) - [(U_{cos}(3) - U_{cos}(2)) * (U_{cos}(3) + U_{cos}(2)) / (U_{sin}(3) - U_{sin}(2))]] / [(U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) / (U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) - (U_{cos}(3) - U_{cos}(2)) / (U_{sin}(3) - U_{sin}(2))] \},$$

wobei $U_{sin}(i)$, $U_{cos}(i)$ die bestimmten Sensorsignale für die Positionen $i=1, 2, 3$ darstellen.

- 25 Die angegebenen Formeln beinhalten lediglich elementare Operationen bezüglich dreier Meßwertpaare für jeweils unterschiedliche Winkel. Weitere Berechnungsarten, insbesondere trigonometrische Berechnungsarten, sind ebenfalls möglich.

30

Das erfindungsgemäße Verfahren wird nun anhand der beigefügten Zeichnung weiter erläutert. In dieser zeigt:

Figur 1 ein Schaubild zur schematischen Darstellung von einem Winkel zuordnenbaren Sinus- bzw. Cosinussignalen,

5 Figur 2 ein Schaubild zur Darstellung des Offsets eines idealen Sensors,

Figur 3 ein Schaubild zur Darstellung des Offsets eines realen Sensors, und

10

Figur 4 ein Schaubild zur Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf der Grundlage dreier unterschiedlicher Winkelstellungen eines zu bestimmenden Winkels.

15

Zahlreiche Winkelsensoren erzeugen für bestimmte Winkelstellungen, welche beispielsweise als Winkel zwischen dem Sensor und einem drehbaren Dauermagneten darstellbar sind, zwei verschiedene Signalwerte, welche den Sinus- bzw. den Cosinus des zu bestimmenden Winkels entsprechen. Derartige Sinus- bzw. Cosinussignale sind in Figur 1 schematisch dargestellt. Ein cosinusförmiges Signal ist hierbei mit U_{\cos} , und ein sinusförmiges Signal mit U_{\sin} bezeichnet. Man erkennt, daß bei einem Winkel φ von 0° ein Signal U_{\sin} von 0, und ein Signal U_{\cos} von 1 vorliegt, was einem idealen Sensor ohne Offset entspricht. Die Signale eines derartigen idealen Sensors für die Winkelmessung sind $U_{\sin}(\varphi) = A \cdot \sin(\varphi)$, und $U_{\cos}(\varphi) = A \cdot \cos(\varphi)$, wobei U_{\sin} und U_{\cos} die Sensorsignale sind, A die Amplitude des Signals und φ den mechanischen Winkel darstellt. Auf der Grundlage zweier derartiger Meßwerte kann der mechanische Winkel beispielsweise durch die Beziehung $\arctan(U_{\sin}(\varphi)/U_{\cos}(\varphi))$ berechnet werden.

20

25

30

Der ideale Zustand, in welchem kein Offset der Signale des Winkelsensors auftritt, ist noch einmal in Figur 2 anhand eines weiteren Schaubildes dargestellt. Hierbei ist auf der Abszissenachse das Signal U_{\sin} , und auf der Ordinatenachse das Signal U_{\cos} aufgetragen. Da die Offsetwerte beider Signale gleich 0 sind, d.h. $O_{\sin}=0$ und $O_{\cos}=0$, liegen sämtliche erfaßten Wertepaare U_{\cos} , U_{\sin} , auf einem Kreisbogen K.

Bei realen bzw. verfügbaren Winkelsensoren tritt jedoch bezüglich beider Signale ein Offset auf, so daß sich ergibt:

$$U_{\sin}(\varphi) = O_{\sin} + A \cdot \sin(\varphi), \text{ und} \\ U_{\cos}(\varphi) = O_{\cos} + A \cdot \cos(\varphi).$$

Das Auftreten eines derartigen Offsets verfälscht tatsächlich durchgeführte Winkelmessungen. Dieser reale Zustand ist in Figur 3 dargestellt. Man erkennt, daß die Offsetwerte O_{\sin} und O_{\cos} von 0 verschieden sind. Die bei Vorliegen eines derartigen Offsets erhaltenen Wertepaare liegen auf einem Kreisbogen K', welcher jedoch nicht den idealen Nullpunkt, sondern den Punkt (O_{\sin}, O_{\cos}) als Mittelpunkt besitzt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht nun eine einfache Bestimmung der Offsetwerte O_{\sin} und O_{\cos} , so daß auf der Grundlage dieser bestimmten Offsetwerte eine bereinigte Winkelberechnung durchführbar ist.

Das der Erfindung zugrundeliegende Problem liegt in der Bestimmung des Mittelpunktes eines Kreises, von dem

lediglich unterschiedliche Punkte auf dem Kreisbogen bekannt sind.

Die Lösung dieses Problems wird nun anhand der Figur 4
5 näher erläutert. In dem dort dargestellten Beispiel wird der Mittelpunkt 0 des Kreises auf der Grundlage dreier Punkte 1, 2, 3, welche auf dem Kreisbogen K' liegen, bestimmt. Die Koordinaten der jeweiligen Punkte lauten:

10 1: $U_{\sin}(1)$, $U_{\cos}(1)$,
2: $U_{\sin}(2)$, $U_{\cos}(2)$, und
3: $U_{\sin}(3)$, $U_{\cos}(3)$.

Im vorliegenden Beispiel wird also die Bestimmung des
15 Mittelpunkts 0 des Kreises K' auf der Grundlage der drei Kreispunkte 1, 2, 3 dargestellt. Hierbei entsprechen die Koordinaten des Kreismittelpunktes 0 den Koordinaten des Offsets, nämlich O_{\sin} , O_{\cos} .

20 Da alle drei Punkte auf dem Kreis K' liegen, gelten die folgenden Bedingungen:

$$[(O_{\cos}-U_{\cos}(1)) \cdot [(O_{\cos}-U_{\cos}(1)) + [(O_{\sin}-U_{\sin}(1)) \cdot [(O_{\sin}-U_{\sin}(1)) = [(O_{\cos}-U_{\cos}(2)) \cdot [(O_{\cos}-U_{\cos}(2)) + [(O_{\sin}-U_{\sin}(2)) \cdot [(O_{\sin}-U_{\sin}(2))],$$

25

und

$$[(O_{\cos}-U_{\cos}(2)) \cdot [(O_{\cos}-U_{\cos}(2)) + [(O_{\sin}-U_{\sin}(2)) \cdot [(O_{\sin}-U_{\sin}(2)) = [(O_{\cos}-U_{\cos}(3)) \cdot [(O_{\cos}-U_{\cos}(3)) + [(O_{\sin}-U_{\sin}(3)) \cdot [(O_{\sin}-U_{\sin}(3))].$$

30

Durch Lösung dieser Gleichungen ergeben sich die folgenden Werte für die Koordinaten des Mittelpunktes des Kreises K', d.h. die Offsetwerte O_{sin}, O_{cos}:

5
$$O_{sin} = 1/2 * \{ U_{cos}(1) - U_{cos}(3) + [((U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) * (U_{sin}(2) + U_{sin}(1))) / (U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) - ((U_{sin}(3) - U_{sin}(2)) * (U_{sin}(3) + U_{sin}(2))) / (U_{cos}(3) - U_{cos}(2))] / [(U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) / (U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) - (U_{sin}(3) - U_{sin}(2)) / (U_{cos}(3) - U_{cos}(2))] \},$$

10
$$O_{cos} = 1/2 * \{ U_{sin}(1) - U_{sin}(3) + [((U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) * (U_{cos}(2) + U_{cos}(1))) / (U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) - ((U_{cos}(3) - U_{cos}(2)) * (U_{cos}(3) + U_{cos}(2))) / (U_{sin}(3) - U_{sin}(2))] / [(U_{cos}(2) - U_{cos}(1)) / (U_{sin}(2) - U_{sin}(1)) - (U_{cos}(3) - U_{cos}(2)) / (U_{sin}(3) - U_{sin}(2))] \}.$$

15 Die Formeln zur Darstellung der Offsetwerte O_{sin}, O_{cos} beinhalten lediglich elementare Operationen der drei Meßwertpaare bei den unterschiedlichen Winkeln. Die Offsetwerte O_{sin}, O_{cos} sind daher auf der Grundlage des angegebenen Berechnungsverfahrens in einfacher Weise
20 bestimmbar.

Es sei angemerkt, daß sich die Temperatur während der Erfassung der drei Meßwertpaare 1, 2, 3 nicht verändern sollte, da der Radius des Kreises K' von der Temperatur
25 abhängig ist, so daß Temperaturänderungen zu Ungenauigkeiten führen können.

An sich bekannte mathematische Rechenverfahren zur Winkelberechnung auf der Grundlage von Sinus- bzw.
30 Cosinussignalen können erfindungsgemäß um den dargestellten automatischen Offsetabgleich erweitert werden.

Das dargestellte Verfahren erlaubt einen automatischen Offsetabgleich bei dynamischen Drehbewegungen. An den eigentlichen Sensoren wird keine Änderung durchgeführt, sei es vom Layout, der Verpackung oder der Herstellung. Die
5 Änderung findet lediglich an einer Auswerteschaltung statt, so daß herkömmliche Sensoren bei entsprechender Modifikation der Auswerteschaltung weiter verwendbar sind. Wenn die Auswerteschaltung einem Mikroprozessor zugeordnet ist, muß lediglich die Software geändert werden, indem das
10 angegebene Rechenverfahren für die Berechnung und Kompensation des Offsets eingefügt wird. Selbstverständlich sind ebenfalls hardwaremäßige Erweiterungen der Auswerteelektronik denkbar. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens eröffnen sich neue Einsatzmöglichkeiten sowie
15 neue Diagnosemöglichkeiten für sicherheitsrelevante Systeme. Als Beispiele seien in diesem Zusammenhang genannt ESP (electronic stability program), sowie EPS (electronic power steering) mit Sensoren für Lenkradwinkel- Drosselverstell- und Drehmomentmessungen.

20

Das dargestellte Verfahren ist insbesondere bei der berührungslosen Lenkradwinkelmessung und Drehmomentmessung, unabhängig von einem eingesetzten Meß- bzw. Sensorprinzip, vorteilhaft einsetzbar.

15.06.99

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Ansprüche

10 1. Verfahren zum Offsetabgleich von Winkelsensoren, welche einen zu bestimmenden Winkel auf der Grundlage eines dem Winkel zuordnenbaren Sinussignals und eines dem Winkel zuordnenbaren Cosinussignals bestimmen, mit folgenden Schritten:

- 15 - Bestimmung des Sinussignals und des Cosinussignals für wenigstens drei unterschiedliche Winkel (1, 2, 3) zum Erhalt von wenigstens drei jeweils ein Sinussignal und ein Cosinussignal enthaltenden Wertepaaren (Usin(1), Ucos(1); Usin(2), Ucos(2); Usin(3), Ucos(3)).
- 20 - Darstellung der wenigstens drei Wertepaare in einem wenigstens zweidimensionalen, eine Sinussignal-Cosinussignalebene darstellenden Koordinatensystem, und
- Bestimmung eines den abzugleichenden Offset darstellenden Punktes in dem Koordinatensystem,
- 25 bezüglich dessen die wenigstens drei Wertepaare auf einem Kreisbogen liegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Offset Osin des Sinussignals entsprechend einer

30 Gleichung

$$\begin{aligned} \text{Osin} = & 1/2 * \{ \text{Ucos}(1) - \text{Ucos}(3) + [((\text{Usin}(2) - \\ & \text{Usin}(1)) * (\text{Usin}(2) + \text{Usin}(1)) / (\text{Ucos}(2) - \text{Ucos}(1))] - [(\text{Usin}(3) - \\ & \text{Usin}(2)) * (\text{Usin}(3) + \text{Usin}(2)) / (\text{Ucos}(3) - \text{Ucos}(2))] \} / [(\text{Usin}(2) - \end{aligned}$$

$$\frac{U_{\sin}(1)}{(U_{\cos}(2)-U_{\cos}(1))-(U_{\sin}(3)-U_{\sin}(2))} \cdot \frac{U_{\cos}(3)-U_{\cos}(2)}{(U_{\sin}(3)-U_{\sin}(2))}$$

und der Offset O_{\cos} des Cosinussignals entsprechend einer Gleichung

5
$$O_{\cos} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ U_{\sin}(1) - U_{\sin}(3) + \left[\frac{(U_{\cos}(2) - U_{\cos}(1)) \cdot (U_{\cos}(2) + U_{\cos}(1))}{(U_{\sin}(2) - U_{\sin}(1))} - \frac{(U_{\cos}(3) - U_{\cos}(2)) \cdot (U_{\cos}(3) + U_{\cos}(2))}{(U_{\sin}(3) - U_{\sin}(2))} \right] \cdot \frac{(U_{\cos}(2) - U_{\cos}(1))}{(U_{\sin}(2) - U_{\sin}(1))} - \frac{(U_{\cos}(3) - U_{\cos}(2))}{(U_{\sin}(3) - U_{\sin}(2))} \right\},$$

bestimmt wird

10 wobei $U_{\sin}(i)$, $U_{\cos}(i)$ die bestimmten Sensorsignale für die Positionen $i=1,2,3$ darstellen.

15.06.99

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Verfahren zum Offsetabgleich von Winkelsensoren

10

Zusammenfassung

Verfahren zum Offsetabgleich von Winkelsensoren, welche
einen zu bestimmenden Winkel auf der Grundlage eines dem
15 Winkel zuordnenbaren Sinussignals und eines dem Winkel
zuordnenbaren Cosinussignals bestimmen, mit folgenden
Schritten:

- Bestimmung des Sinussignals und des Cosinussignals für
wenigstens drei unterschiedliche Winkel zum Erhalt von
20 wenigstens drei jeweils ein Sinussignal und ein
Cosinussignal enthaltenden Wertepaaren,
- Darstellung der wenigstens drei Wertepaare in einem
wenigstens zweidimensionalen, eine Sinussignal-
Cosinussignalebene darstellenden Koordinatensystem, und
- 25 - Bestimmung eines den abzugleichenden Offset
darstellenden Punktes in dem Koordinatensystem,
bezüglich dessen die wenigstens drei Wertepaare auf
einem Kreisbogen liegen

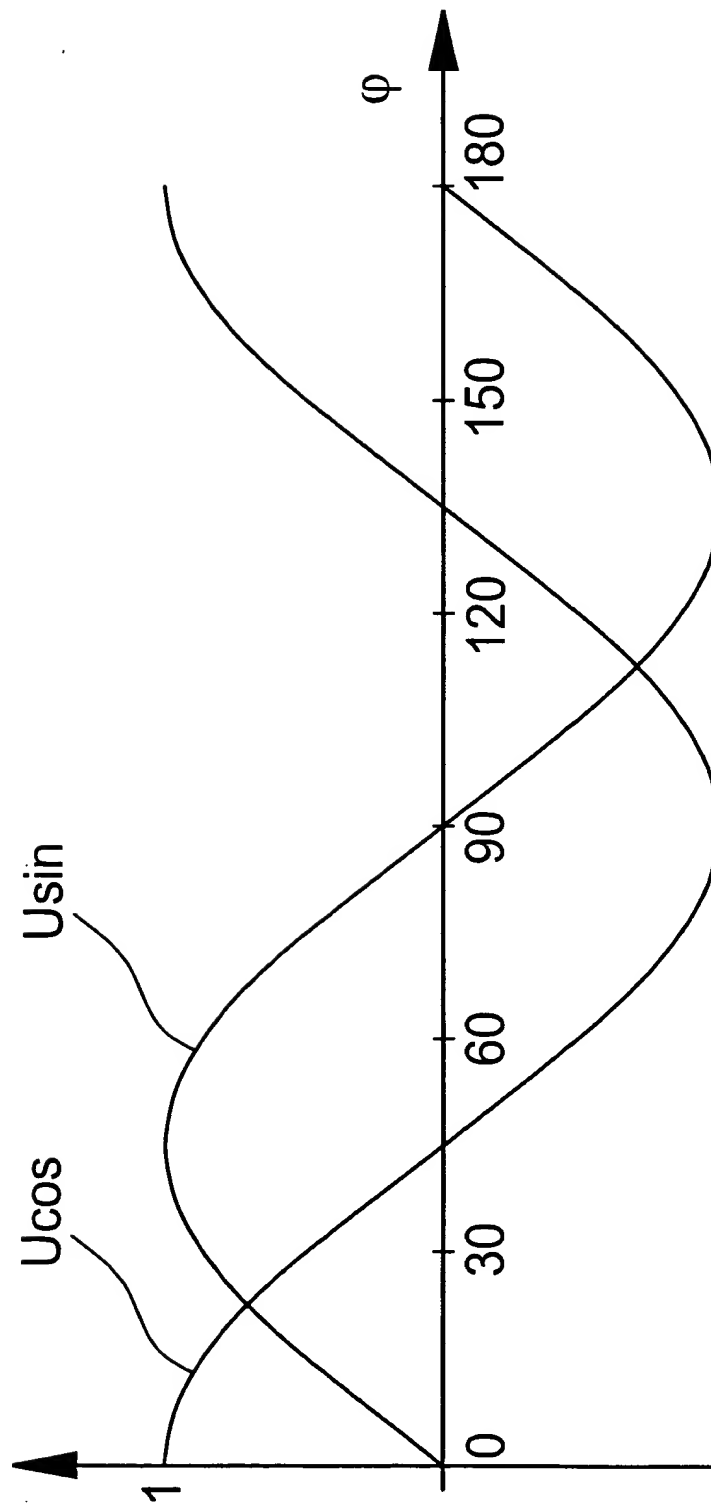
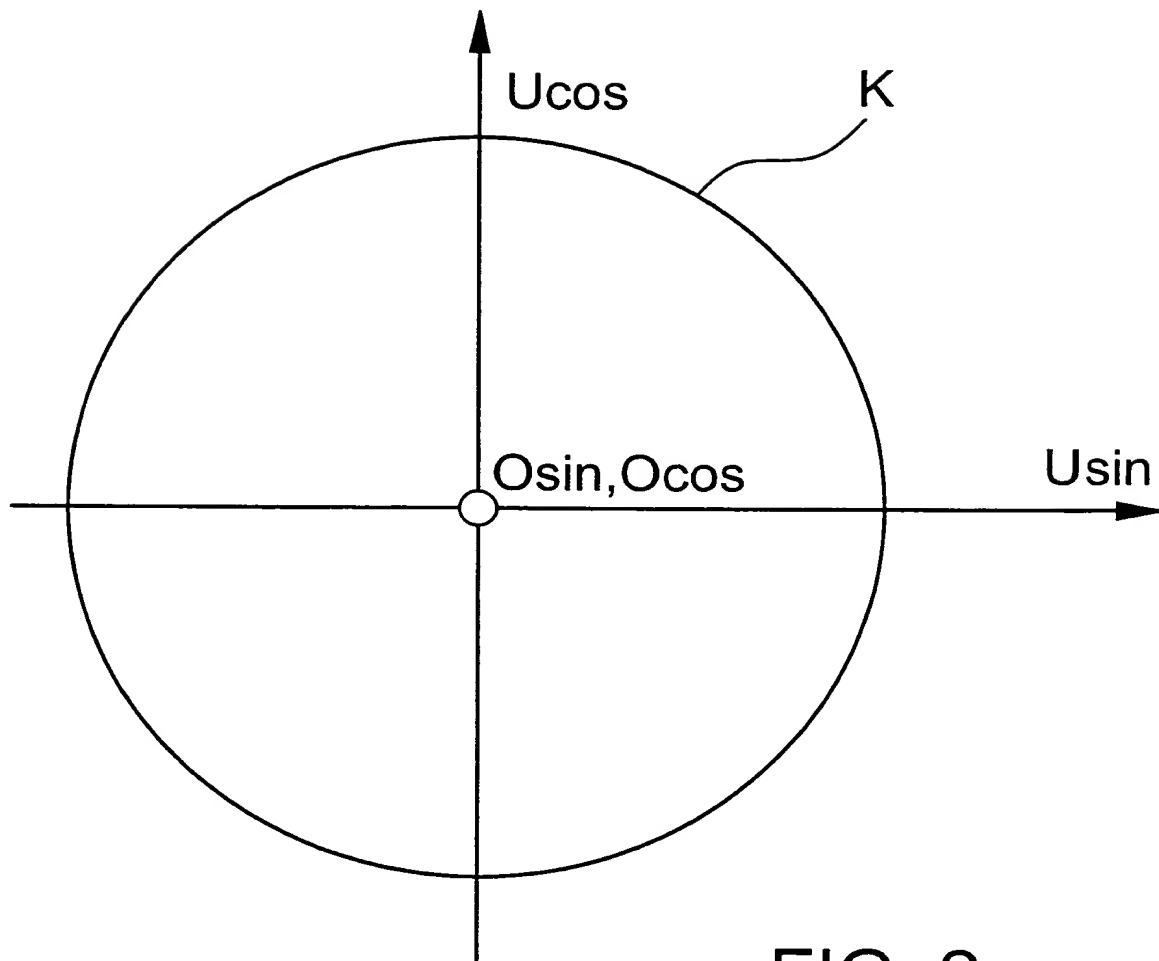
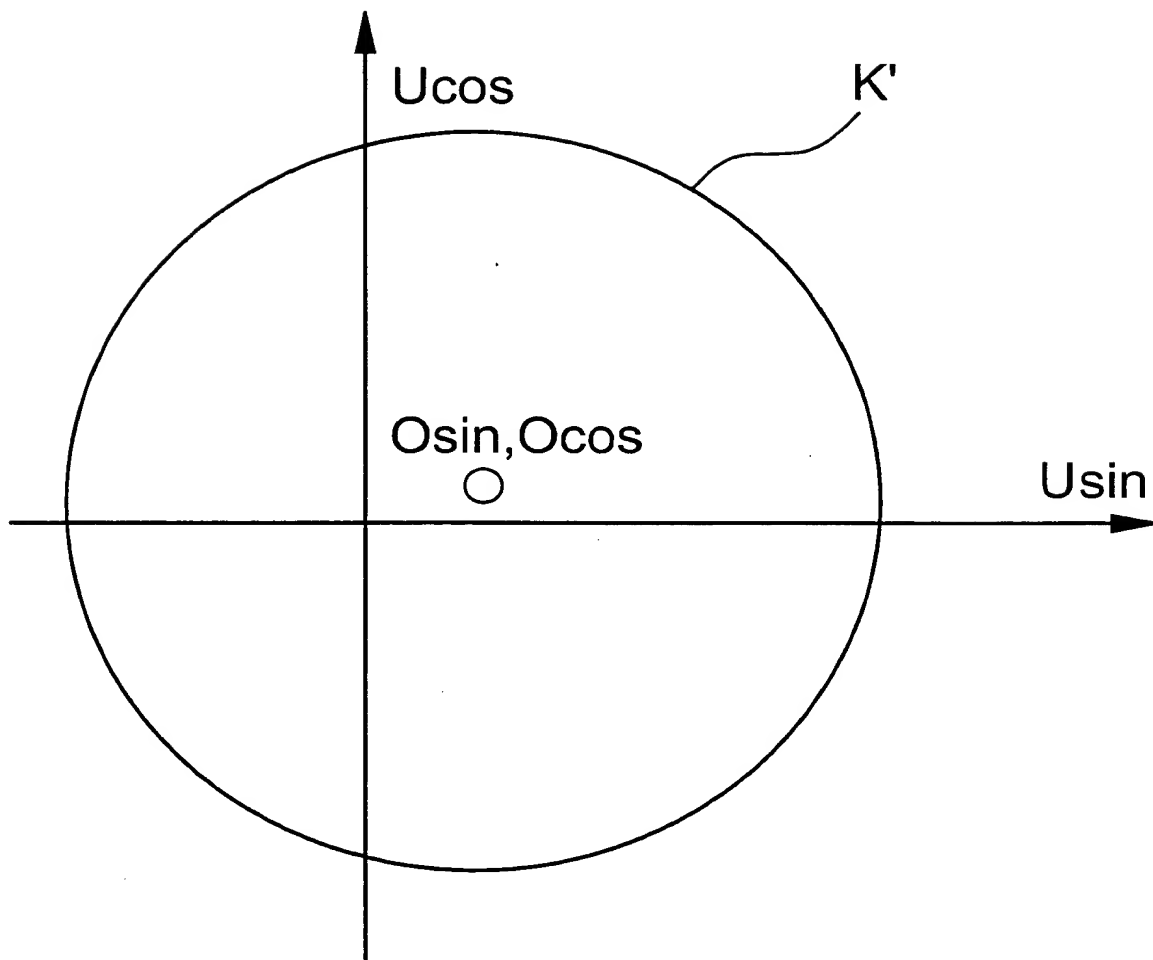


FIG. 1



$$\begin{aligned} O \sin &= 0 \\ O \cos &= 0 \end{aligned}$$

FIG. 2



$O_{\sin} \neq 0$
 $O_{\cos} \neq 0$

FIG. 3

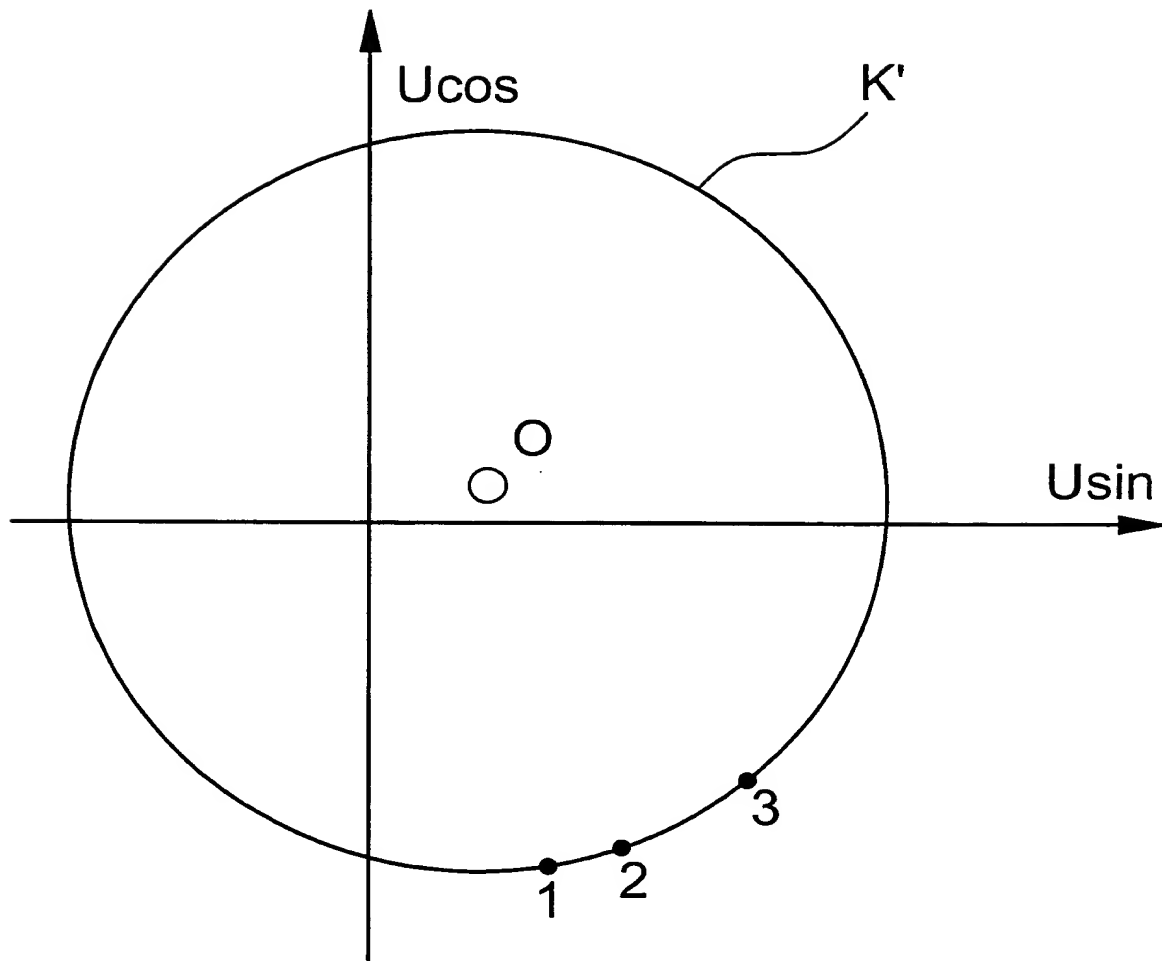


FIG. 4

Wertepaare:
 $U\sin(1), U\cos(1)$
 $U\sin(2), U\cos(2)$
 $U\sin(3), U\cos(3)$